

公開資料

社会技術研究開発事業  
研究開発実施終了報告書

SDGs の達成に向けた共創的研究開発プログラム

シナリオ創出フェーズ

「温泉地域における超分散型エネルギー社会を  
実現するためのシナリオ策定」

研究開発期間 令和 2 年 10 月～令和 5 年 3 月

研究代表者 佐々木 壮一  
(長崎大学 大学院工学研究科 助教)

協働実施者 森 知洋  
(雲仙市 環境水道部 参事補)

## 目次

I. 本研究開発実施終了報告書サマリー .....	3
II. 本編 .....	4
1. 研究開発プロジェクトの目標 .....	4
1-1. 研究開発プロジェクト全体の目標 .....	4
1-2. プロジェクトの位置づけ .....	4
2. 研究開発の実施内容.....	5
2-1. 実施項目およびその全体像 .....	5
2-2. 実施内容.....	8
3. 研究開発成果 .....	22
3-1. 目標の達成状況.....	22
3-2. 研究開発成果 .....	23
4. 研究開発の実施体制.....	25
4-1. 研究開発実施体制 .....	25
4-2. 研究開発実施者.....	28
4-3. 研究開発の協力者 .....	29
5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など .....	30
5-1. シンポジウム等.....	30
5-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など .....	30
5-3. 論文発表.....	31
5-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） .....	31
5-5. 新聞報道・投稿、受賞など .....	32
5-6. 特許出願.....	32
6. その他（任意） .....	32

## I. 本研究開発実施終了報告書サマリー

- (1) 小浜温泉を最初のフィールドとして、地域における温泉施設の指定管理者と源泉所有者である温泉事業者を対象とした、量産機械要素技術の転用による実現可能性の高いスマートバイナリー発電システムの創出を計画した。同システムの可能性試験のための1号機（出力100W）および実証試験のための2号機（出力1kW）を当初計画通り開発した。
- (2) 温泉地域社会に対して地域の地熱エネルギーによる電力を多様な用途に展開することを目的として、小浜温泉地域の個別の源泉にスマートバイナリー発電システムを設置することを計画した。1号機の可能性試験を小浜温泉の観光施設に併設された試験場で完了した。2号機の実証試験については、開発の遅れから令和5年3月末まで期間を延長した。
- (3) 小浜温泉地域のエネルギー活用に関するビジネスモデルをリーンスタートアップのマネジメント手法により仮説検証することを計画したが、アントレプレナー候補者を選出することができなかった。このため、学生アントレプレナー、協議会、研究プロジェクトチームおよびアドバイザーチームとの協働によるビジネスモデルの仮説検証へ計画を修正した。変更された計画に沿って、マーケティング調査とビジネスモデルの仮説検証を実施した。
- (4) 100kW 級バイナリー発電所で形成された既存の共創モデルから、スマートバイナリー発電により地域のエネルギーを直接活用する新しいモデルへの変容を、教育、産業、エネルギー、地域づくりの計測指標に基づいて評価することを計画したが、本プログラムの実質的なシナリオ構築の目標にあわせて、主体形成、持続可能性、他地域展開の社会技術モデルのシナリオ構築に計画を修正した。修正された計画に沿って、これらの社会技術のシナリオを構築した。
- (5) 九州の温泉地域社会に対して、超分散型エネルギー社会の仕組みの他地域展開を目的として、九州地区の温泉地域における行政機関のネットワークを活用した社会技術の情報発信を計画した。当初計画通り、九州地区の行政機関における二つの会議において本研究プロジェクトにおける社会技術の取り組みを情報発信した。
- (6) 超分散型エネルギー社会を実現するシナリオ策定からその実証試験への移行を目的として、2022年度「Solve for SDGs（ソリューション創出フェーズ）」への申請を計画した。当初計画通り、本研究プロジェクトで構築された社会技術のシナリオを同研究プログラムへ申請した。

## II. 本編

### 1. 研究開発プロジェクトの目標

#### 1-1. 研究開発プロジェクト全体の目標

- (1) 長崎大学総合生産科学域が、地域の企業と長崎大学研究開発推進機構との協働で、小浜温泉地域を最初のフィールドとして、地域における温泉施設の指定管理者と源泉所有者である温泉事業者を対象として、量産機械要素技術の転用により実現可能性の高いスマートバイナリー発電システムを創出する。
- (2) 長崎大学総合生産科学域が、小浜温泉地域の協議会、雲仙市および長崎県工業技術センターとの協働で、小浜温泉地域の源泉に設置されたスマートバイナリー発電システムの可能性試験と実証試験を実施し、温泉地域社会に対して、地域の温泉熱により発電された電力を多様な用途に展開する。
- (3) 研究代表者と長崎大学研究開発推進機構が、小浜温泉地域の協議会との協働で、小浜温泉地域に対して、地域のエネルギー活用のビジネスモデル仮説をリスタートアップのマネジメント手法により構築することを計画したが、社会実装のためのアントレプレナー候補者を選出することができなかった。このため、学生アントレプレナー、協議会、研究プロジェクトチームおよびアドバイザーチームとの協働によるビジネスモデルの仮説検証へ計画を修正した。
- (4) 長崎大学総合生産科学域が、100kW級バイナリー発電所で形成された既存の共創モデルから、スマートバイナリー発電により地域のエネルギーを直接活用する新しいモデルへの変容を、教育、産業、エネルギー、地域づくりの計測指標に基づいて評価することを計画したが、本プログラムの実質的なシナリオ構築の目標にあわせて、主体形成、持続可能性、他地域展開の社会技術モデルのシナリオ構築に計画を修正した。
- (5) 研究代表者が、雲仙市をはじめとした研究プロジェクトに関わる全組織との協働で、九州の温泉地域社会に対して、超分散型エネルギー社会の仕組みの他地域展開を計画する。
- (6) 超分散型エネルギー社会を実現するシナリオ策定からその実証試験への移行を目的として、2022年度「Solve for SDGs（ソリューション創出フェーズ）」への申請を計画する。

#### 1-2. プロジェクトの位置づけ

長崎県雲仙市の小浜温泉地域は、地熱開発事業者と地域との対立構造の歴史を乗り越え、全国に先駆けて未利用温泉エネルギー利用推進のための協議会方式による独自の共創モデルを形作ってきた。一方で、地域のエネルギーには、災害時の非常用電源に代表されるよう

に多様な需要がある。しかし、100kW 級のバイナリー発電所を運営するための初期費用などの問題から、地域自身が主体となって発電所を運営し、その電力を地域のために活用することはできなかった。また、この規模の発電所には複数の源泉から湯を集める必要があり、源泉所有者間の様々な調整も運営上の課題となっていた。

長崎大学の研究プロジェクトチームは、量産機械要素技術の転用による実現可能性の高い小出力のバイナリー発電システムに関する技術シーズを有する。出力 1kW 級のバイナリー発電システムは個別の源泉に分散して設置することを可能にする。さらに、この発電方式は、従来の FIT 制度による売電事業に限らず、地域のエネルギーを地域における多様な課題の解決に展開することができる。以下、この多目的用途の小出力温泉熱発電システムをスマートバイナリー発電システムと呼ぶことにする。本プロジェクトでは、長崎大学と雲仙市が長崎大学発の技術シーズであるスマートバイナリー発電の可能性試験に基づいて、小浜温泉地域を最初のフィールドとして超分散型エネルギー社会を実現するシナリオを策定する。また、協議会を主体として温泉地域における課題解決のためのビジネスモデル仮説を構築し、地域が自家消費電源を持続的に活用するための新たなソリューションを提案する。さらに、この新しい共創モデルに基づいて、超分散型エネルギー社会の仕組みを他地域展開するための構想を創出する。

この社会技術のシナリオを構築することを目的として、まず、量産機械要素技術の転用により実現可能性の高いスマートバイナリー発電システムを開発した。この発電システムを小浜温泉の観光施設に併設された試験場に設置し、その発電システムの可能性試験を実施した。小浜温泉地域では「小浜温泉 SDGs プロジェクト推進協議会」を発足し、地域のエネルギー活用のビジネスモデル仮説について協議した。また、地域におけるこのビジネスモデルの受益者である温泉施設の指定管理者と源泉所有者である温泉事業者に対して、地域のエネルギーによる自家消費電源を持続的にマネジメントするためのビジネスモデルを提案した。これらの活動を通して、100kW 級のバイナリー発電所で形成された既存の共創モデルから、スマートバイナリー発電により地域のエネルギーを直接活用する新しい社会技術への変容のシナリオを、主体形成、持続可能性、他地域展開の視点から構築した。

## 2. 研究開発の実施内容

### 2-1. 実施項目およびその全体像

#### 大項目 A スマートバイナリー発電システムの開発

##### 中項目 A-1 実証試験のための試作機の開発

- ・ 実施項目 可能性試験のための 1 号機（出力 100W）の開発（大項目 A・中項目 A-1）
- ・ 実施項目 制御システムの開発（大項目 A・中項目 A-1）

##### 中項目 A-2 他地域展開のための実証機の開発

- ・ 実施項目 実証試験のための 2 号機（出力 1kW）の開発（大項目 A・中項目 A-2）

- ・ 実施項目 システムの製造技術と制御法に関する知財出願（大項目 A・中項目 A-2）
- ・ 実施項目 デジタルデータを活用した IoT 装置の開発（大項目 A・中項目 A-2）
- ・ 実施項目 タービン性能の数値シミュレーション（大項目 A・中項目 A-2）

#### 大項目 B スマートバイナリー発電の実証試験

##### 中項目 B-1 スマートバイナリー発電の実証試験事業（計画）

- ・ 実施項目 雲仙市との協働（大項目 B・中項目 B-1）
- ・ 実施項目 小浜温泉エネルギーとの協働（大項目 B・中項目 B-1）
- ・ 実施項目 1号機可能性試験の準備（大項目 B・中項目 B-1）

##### 中項目 B-2 スマートバイナリー発電の実証試験事業（計測）

- ・ 実施項目 1号機の可能性試験（大項目 B・中項目 B-2）

##### 中項目 B-3 スマートバイナリー発電の実証試験事業（分析・評価）

- ・ 実施項目 1号機の評価・分析（大項目 B・中項目 B-3）

#### 大項目 C 超分散型エネルギー社会の他地域展開

##### 中項目 C-1 スマートバイナリー発電の他地域展開事業（計画）

- ・ 実施項目 スマートバイナリー発電のマーケティング活動（大項目 C・中項目 C-1）

##### 中項目 C-2 スマートバイナリー発電の他地域展開事業（計測）

- ・ 実施項目 社会技術の主体形成に向けた活動（大項目 C・中項目 C-2）
- ・ 実施項目 社会技術の持続可能性に向けた活動（大項目 C・中項目 C-2）
- ・ 実施項目 社会技術の多地域展開に向けた活動（大項目 C・中項目 C-2）

##### 中項目 C-3 スマートバイナリー発電の多地域展開事業（分析・評価）

- ・ 実施項目 次期研究プロジェクトの SWORT 分析（大項目 C・中項目 C-3）

#### 大項目 D 超分散型エネルギー社会の情報発信

##### 中項目 D-1 実証試験事業

- ・ 実施項目 デジタルサイネージによる社会技術の情報発信（大項目 D・中項目 D-1）

##### 中項目 D-2 他地域展開事業

- ・ 実施項目 地熱・温泉熱エネルギー産業化実務者会議（大項目 D・中項目 D-2）
- ・ 実施項目 地熱資源開発にかかる自治体連絡会議（大項目 D・中項目 D-2）

##### 中項目 D-3 地域共創事業の成果展示

- ・ 実施項目 長崎県内の初等・中等教育支援のための登録（大項目 D・中項目 D-3）
- ・ 実施項目 冊子「温泉地域社会のための SDGs—基本計画—」（大項目 D・中項目 D-3）
- ・ 実施項目 「ながさき経済」における社会技術の情報発信（大項目 D・中項目 D-3）

#### 大項目 E 温泉地域における超分散型エネルギー社会に関する成果発表

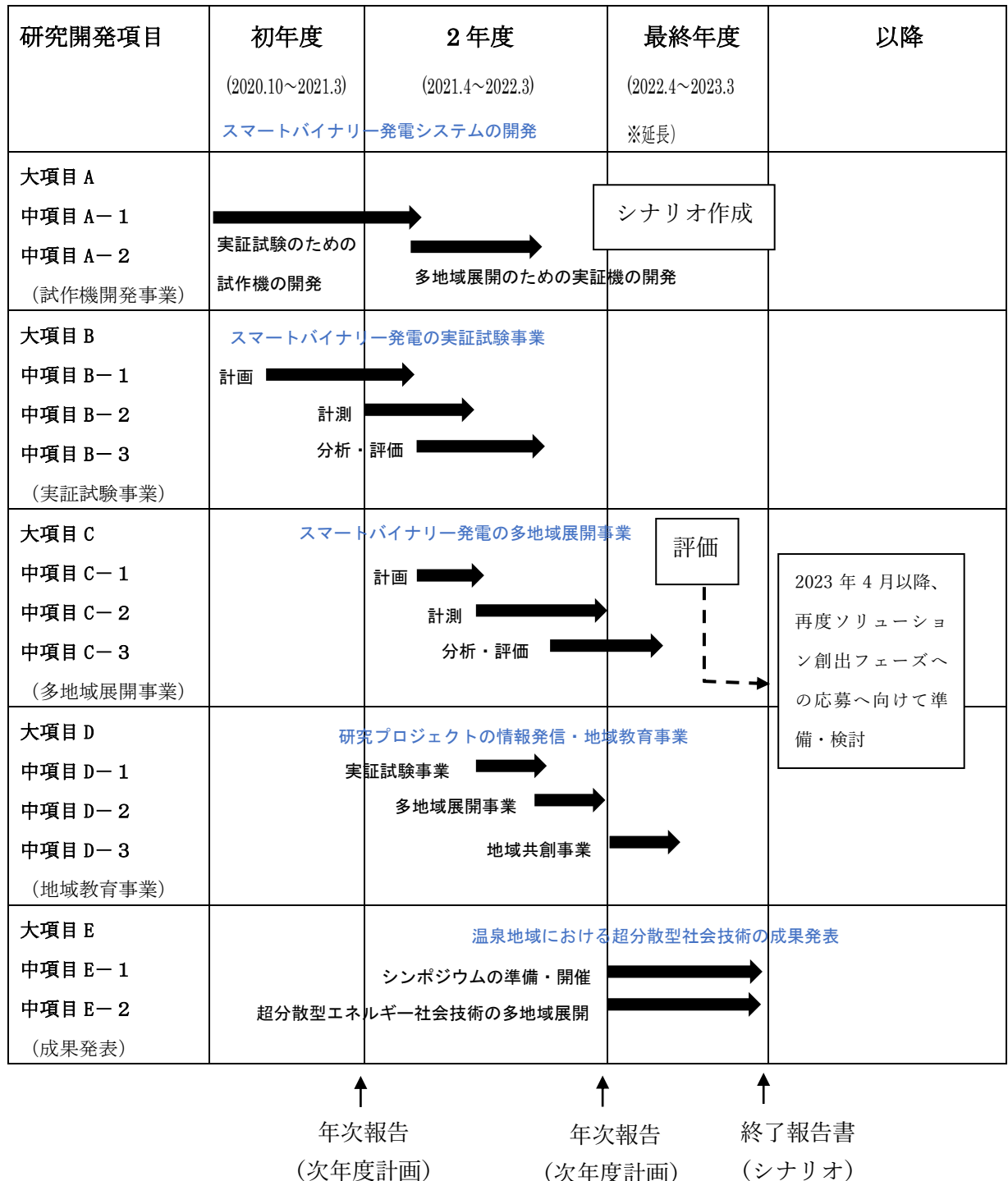
##### 中項目 E-1 シンポジウムの準備・開催

- ・ 実施項目 協議会におけるシナリオ策定（大項目 E／中項目 E-1）

##### 中項目 E-2 温泉地域における超分散型エネルギー社会の他地域展開

- ・ 実施項目 小浜温泉 SDGs プロジェクトワークショップ（大項目 E・中項目 E-2）

研究開発期間中（24ヶ月）のスケジュール



## 2-2. 実施内容

### 大項目A スマートバイナリー発電システムの開発

#### 中項目A-1 実証試験のための試作機の開発

- ・ 実施項目 可能性試験のための1号機（出力100W）の開発（大項目A・中項目A-1）

【内容】：試作1号機の凝縮器は空冷方式であることに特徴がある。凝縮器は株式会社山昇冷機製作所の協力によって製作された。蒸発器の作動流体（R245fa）の流量は、温水の熱が全て作動流体に与えられることを仮定して設計された。蒸発器は株式会社日阪製作所の協力によって製作された。蒸発器の交換熱量の計算には、本プロジェクトの技術シーズ（科研基盤(C)、16K00653）の設計データが採用された。温水熱交換器の銅製丸巻きコイルは株式会社山昇冷機製作所の協力のもと、全長15m（3/8”）、φ300の丸巻きコイルを製作した。システムの実現可能性を向上させるために、カーエアコンのスクロールコンプレッサーがタービンに転用されている。システムの筐体はアルミフレームで構成され、それぞれの構成装置の位置を空間的に可動させることが可能な構造にした。システム筐体は株式会社宇宙模型の協力によって開発された。

【結果】：可能性試験を目的とした試作1号機（出力100W）を開発した。システムの熱力学的性能を計算した結果、その熱効率は1.81%、出力は109Wになった



図1 スクロールタービンと試作1号機

- ・ 実施項目 制御システムの開発（大項目A・中項目A-1）

【内容】：熱効率は高温熱源からの受熱量と源泉の流量によって決定される。また、正味出力はタービン出力からポンプと冷却ファンの消費電力を差し引いたものによって決定される。従って、システムの熱効率を向上させるためには、タービン効率の向上とシステムの消費電力を抑えることが指針となる。本プロジェクトのタービンにはスクロールコンプレッサーが転用されているため、研究プロジェクトチームでは量産機械の効率を向上させることはできない。従って、システムの熱効率を向上させるためには、システムの消費電力を抑制することが現実的な対策となる。以上のことから、システムのポンプと冷却ファンの消費電力を最小にするためのPI制御システムを開発した。



【結果】：図 2 はシステムの構成図を示したものである。タービンの出口圧力  $P_4$  を計測する。 $P_4$  が計測されると、凝縮器出口での飽和液の温度  $T_{1(sat)}$  が解析的に決定される。凝縮器の出口温度  $T_1$  を計測し、凝縮器出口で作動流体が飽和液となるように ( $T_1^* = T_{1(sat)} - \delta T_1$ ;  $\delta T_1$  は余裕温度) 冷却ファンの回転数を  $\Delta f_{41}$  により PI 制御する。蒸発器の温水の入口温度  $T_H$  と作動流体の出口温度  $T_3$  を計測する。蒸発器最小温度差  $\Delta T_{H3}$  を与え、制御目標となる蒸発器に出口における作動流体の目標温度  $T_{3(limit)}$  を決定する。実測値の蒸発器出口温度  $T_3$  が  $T_{3(limit)}$  を下回らないよう、作動流体の循環ポンプの流量  $Q_r$  をインバータ周波数  $\Delta f_{12}$  で PI 制御する。これらの制御を可能にする、図 3 のシステムを開発した。

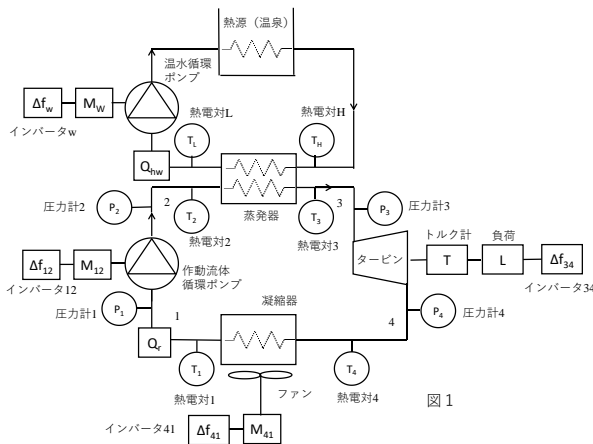


図 2 システムの構成図

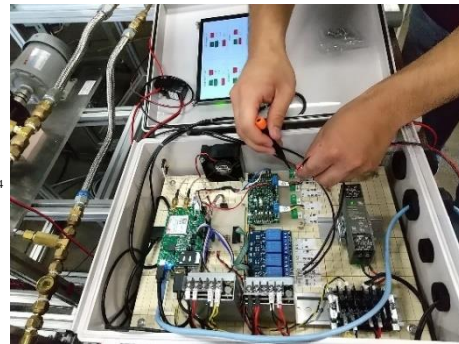


図 3 制御システム

中項目 A-2 他地域展開のための実証機の開発

- ・ 実施項目 実証試験のための 2 号機 (出力 1kW) の開発 (大項目 A・中項目 A-2)

【内容】：市販のエアークOMPRESSOR をタービンへ転用することを検討した (図 4)。しかし、空気を圧縮する機械であるために高圧状態における気密性が低く、タービン転用には技術的な課題が多いことがわかった。そこで、民間企業との共同開発体制を構築し、試作 2 号機 (出力 1kW) の発電システムを開発した (図 5)。



図 4 エアークOMPRESSOR

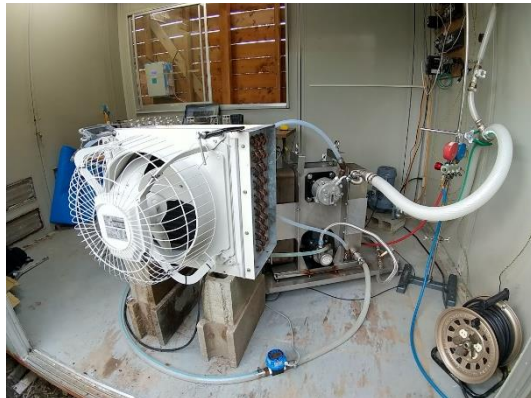


図 5 試作 2 号機

【結果】：2号機の実証試験では、空気抜き機構、凝縮器の改良、冷凍機油充填の実験、温水配管の破裂などを経験しながら（図6）、温水の熱エネルギーから実際に電気を取り出すまでを可能にした（図7）。2号機の、開発の遅れの経緯から、2号機の十分な実証試験を実施することができず、実証試験の期間を令和5年3月末まで延長することとした。



図6 温水配管の破裂



図7 試作2号機による発電

- ・ 実施項目 システムの製造技術と制御法に関する知財出願（大項目A・中項目A-2）

【内容】：スマートバイナリー発電システムの制御法に関する知財を申請した（2021年3月30日出願）。この発明は、従来の100kW級バイナリー発電システムにみられる分散型エネルギーシステムではなく、温泉の排熱や工場の排熱を回収するための超分散型エネルギーシステムの創出を目的としたものである。温泉地域における源泉所有者の施設では、多くの場合、河川や海から冷却水を給水することができない。一方、空冷式バイナリー発電システムは実用化されておらず、その出力を最大化させるための制御技術もない。この発電システムにはスクロールタービンが搭載され、空冷式凝縮器で作動流体が冷却される。この発明には、小型システムの発電量を最大化させるために、高温熱源の温度、圧力、作動流体の流量をセンサーでモニターしながら冷却ファンとポンプの消費電力を熱力学的に制御することに特徴がある。

【結果】：スマートバイナリー発電の制御法に関する知財を出願した。

発明などの名称；バイナリー発電装置

出願番号；特願 2021-57731

出願人；長崎大学

発明者；佐々木壮一、山口朝彦

- ・ 実施項目 デジタルデータを活用したIoT装置の開発（大項目A・中項目A-2）

【内容】：気温及び天気情報から、運転条件や取り出すエネルギーに大きくかわる源泉湯温を予測するAIの試作を行った。データ収集に関して、スマートバイナリー発電システムに関連するデータを現地で取得することが可能なIoT装置を試作し運用するなかで、温泉

特有の腐食環境に対し温度センサー周りが損傷した。そこで、耐久性を重視した構成の機器に変更し湯温及び気温のデータ収集を行った。

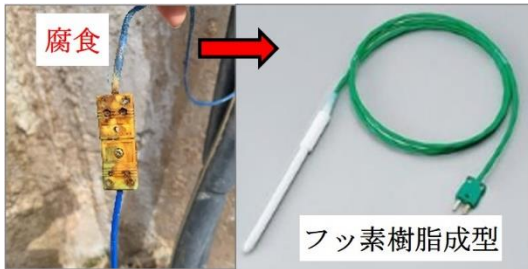


図8 腐食した熱電対の仕様変更

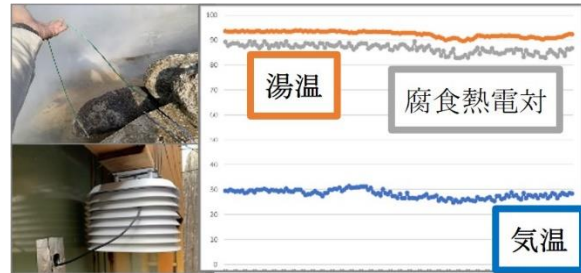


図9 気温、湯温（9/18、10分毎）

【結果】：運転状態を把握し、最適な運転条件に制御するプロセスで必要となるデータをまとめてAIと連携させていく展開が想定される。今回のORCシステムにおいてロギングされている30項目のデータに加え、日時や天気などのデータを入力とし、出力として例えばタービンの回転数などを予測制御するようなシステムが検討できる。

1	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y
2	年	月	日	時	気温	天気	風速	湿度
3	2022	9	12	11	22.1	4	95.1	95.1
4	2022	9	12	12	21.2	4	95.1	95.1
5	2022	9	12	13	21.5	4	94.9	94.9
6	2022	9	12	14	21.1	4	27.7	95.1
7	2022	9	12	15	20.9	2	26.5	95.1
8	2022	9	12	16	20.7	2	26	95.1
9	2022	9	12	17	21.3	2	26	95.1
10	2022	9	12	18	22.2	2	25.6	95.1
11	2022	9	12	19	25	2	27.7	95.1
12	2022	9	12	20	25.9	2	28.6	95.2
13	2022	9	12	21	27.3	2	28.6	95.2
14	2022	9	12	22	27.4	2	28.2	95.1
15	2022	9	12	23	27.5	2	28.2	95.1
16	2022	9	12	24	28.2	2	28.2	95.1
17	2022	9	12	25	28.2	2	28.2	95.1

図10 データセット(実測+気象庁)

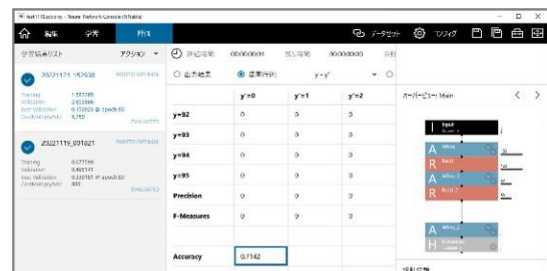


図11 ニューラルネットワーク試作

- ・ 実施項目 タービン性能の数値シミュレーション（大項目A・中項目A-2）

【内容】：スマートバイナリー発電システムのタービンについて、シミュレーション技術を用いてサイバー空間におけるタービンの運転特性を予測できるようにする。対象のタービンを形状測定して、3次元デジタルデータを得ることができた（図12）。当該3次元デジタルデータから固定スクロールの流路形状を新たに作成して、その流路形状と旋回スクロールの位置合わせを行った（図13）。



図12 スクロールのデジタルデータ

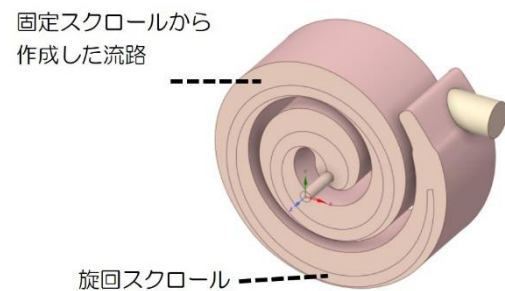


図13 タービンのシミュレーションモデル



【結果】：モデルに対して入口の圧力や温度を設定して、シミュレーションすることにより出力トルクなどの運転特性を得た（図 14）。受益者はスマートバイナリー発電システムを設置する運営者を想定しており、メンテナンス技術を向上することにより不具合に対する迅速な対応を受けることで損益を最小限に留めることができる。また、スマートバイナリー発電システムの管理会社を担い手と想定しており、タービンのメンテナンスを要する時期などを設定しやすくなるなど、効率的な管理体制を構築することができる。

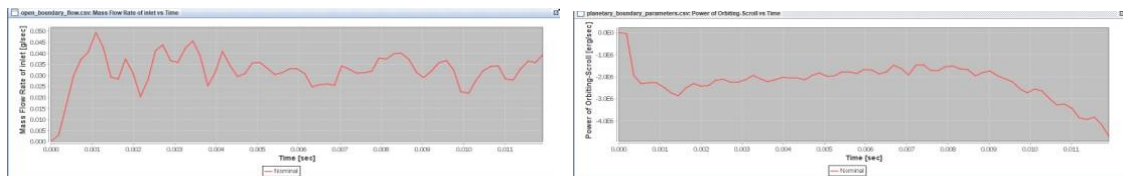


図 1 4 タービンの運転特性の予測

## 大項目 B スマートバイナリー発電の実証試験

### 中項目 B-1 スマートバイナリー発電の実証試験事業（計画）

- ・ 実施項目 雲仙市との協働（大項目 B・中項目 B-1）

#### 【内容】：

- ・ 第2回打ち合わせ（2020/11/18）；九州地区における行政のエネルギー政策会議において、本研究プロジェクトの取り組みを紹介することなどの意見交換がなされた（中項目 D-2 地熱資源にかかる自治体連絡会議）。本研究プロジェクトの実証試験に関して、雲仙市小浜町の実証試験場の使用許可について協力要請した。
- ・ 第8回打ち合わせ（2021/03/22）；全体研究計画開発計画書の実施項目における「大項目 D 実証試験事業・多地域展開事業・地域共創事業の資料展示」の実施計画として、デジタルサイネージを設置することが提案された。同機器の設置場所の候補地を雲仙市と選定した。デジタルサイネージを実証試験場に設置することがプロジェクトの研究発表を公表する上で有効であることが提案された。
- ・ 第12回打ち合わせ（2021/04/21）；「小浜温泉旅館組合」の定例会議でのスマートバイナリー発電に関するインタビュー調査することについて打ち合わせした。実証試験場のレイアウト確定のために、午後から現場で入口、実験室などの寸法を測定した。
- ・ 第24回打ち合わせ（2021/8/26）；雲仙市の実証試験施設に一次熱交換器を設置することの利用を申請した。

【結果】：雲仙市との協働によって、可能性試験他のための試作1号機が2021年11月10日に小浜温泉の実証試験場に設置された。

- ・ 実施項目 小浜温泉エネルギーとの協働（大項目 B・中項目 B-1）

#### 【内容】：

- ・ 第1回打ち合わせ（2020/11/11）；全体研究開発計画書、II. 研究開発プロジェクトの

目標、「1. 研究開発プロジェクト全体の目標」における主体が「小浜温泉エネルギー」から「長崎大学総合研究科学域」へ修正された。

- ・ 第9回打ち合わせ（2021/03/22）；全体研究開発計画書、III 研究開発の内容における「大項目C スマートバイナリー発電の多地域展開事業」の執行に際して、スマートバイナリー発電システムの運用に関する地域との意見交換について協力要請した。地域における協議の代表として「小浜温泉旅館組合」が推薦された。実証試験場における温水配管システムの工事について意見交換し、過去の研究事業で小浜町の(有)田原鉄工に委託したことが情報提供された。
- ・ 第1回戦略会議（2021/08/19）；小浜温泉エネルギーの事業整理に伴って地域での活動の主体がなくなったことが報告された。協働実施者からアドバイザーチームへ、小浜温泉エネルギーの事業整理の経緯が説明された。
- ・ 実施項目 1号機可能性試験の準備（大項目B・中項目B-1）

【内容】：

- ・ 第16回打ち合わせ（2021/6/21）；温水循環システムの工事について地域の企業（田原鉄工）と打ち合わせした。一次熱交換器である丸巻き銅管を95℃の湯棚に設置する。丸巻き銅管の温水流量は4L/minとした。温水はポンプ（三相電機、PMD-521B6D）によって搬送される。また、システムの温水が蒸発して不足しないように自動給水する構造とした。

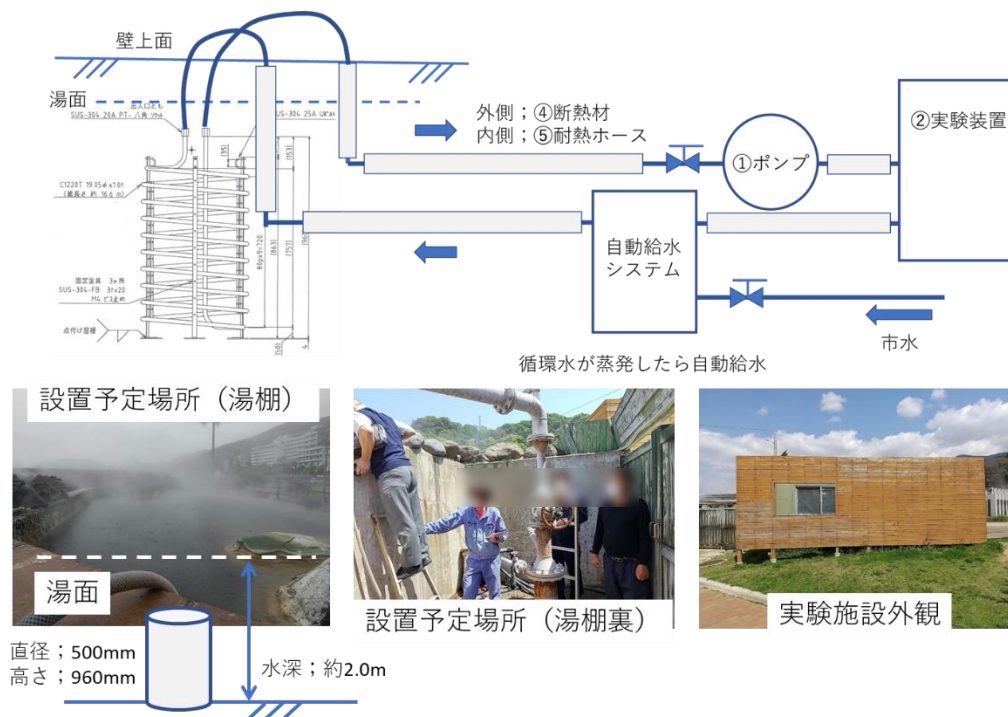


図15 温水循環システム

【結果】：2021年9月13日から15日にかけて、温水循環システムの工事を実施した。温泉の熱エネルギーを取り出すための温水循環システムが完成した。このシステムは源泉の熱エネルギーを取り出すだけで、足湯に流れる温泉水の湯量や水質への影響はない。

中項目B-2 スマートバイナリー発電の実証試験事業（計測）

- ・ 実施項目 タービン性能の実証試験（大項目B・中項目B-2）

【内容】：図16はタービン性能を試験するための実験装置の外観を示したものである。図17は、タービン効率を異なる入口圧力の条件で計測した結果である。図中の凡例の圧力は無負荷のタービンに与えた入口圧力である。

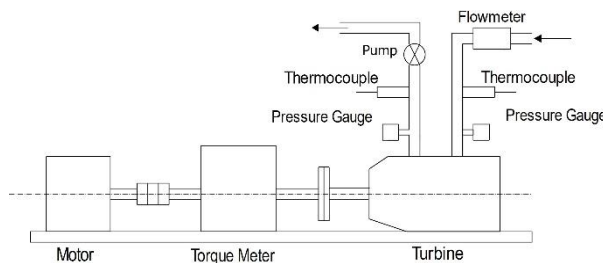


図16 タービン性能試験

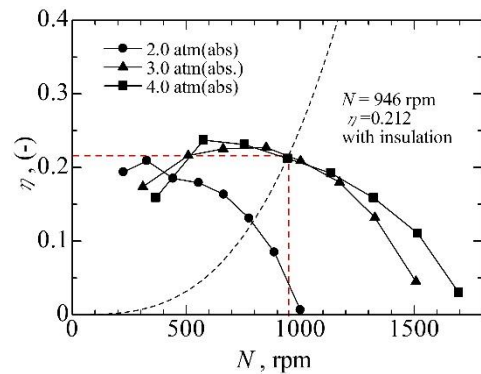


図17 タービン効率

【結果】：タービン入口圧力が3気圧と4気圧のタービン効率は、作動点でいずれも21.2%になった。

中項目B-3 スマートバイナリー発電の実証試験事業（分析・評価）

- ・ 実施項目 スマートバイナリー発電システムの評価・分析（大項目B・中項目B-3）

【内容】：図18はORC実験装置の概略図を示したものである。ORCは循環ポンプ、蒸発器、タービン、凝縮器から構成されている。図19は小浜温泉の実証試験施設で計測されたタービンとORCの性能の時間変化を示したものである。



図18 試作1号機の外観

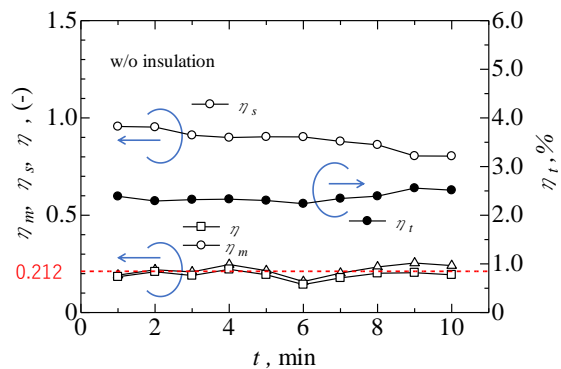


図19 ORC性能の時間変化

【結果】：小浜温泉での実証試験において、試作機のORCの熱効率が2.37%であることを作動流体の物理量の計測に基づいて示した。タービン単体の試験における作動点のタービン効率が21.2%であるのに対して、ORCの実証試験におけるタービン効率は19.2%であった。1号機のORCのポンプ性能が改善されると、試作機のORCの出力は109.4Wになる。

## 大項目C 超分散型エネルギー社会の他地域展開

### 中項目C-1 スマートバイナリー発電の他地域展開事業 (計画)

- ・ 実施項目 スマートバイナリー発電のマーケティング活動 (大項目C・中項目C-1)

【内容】：長崎大学の寄付講座 FFG アントレプレナーシップセンターがスマートバイナリー発電システムのマーケティング活動を「イノベーション論」のゼミを通して実施した。本研究プロジェクトのマーケティング活動には、ゼミの受講生 8 名が参加した。ゼミ生の属性は、学生 3 名 (長崎大)、市会議員 1 名、会社員 4 名 (内少なくとも 2 名が代表) であった。マーケティング活動の成果が、技術の概要、潜在的ベネフィット、潜在市場と市場の興味、技術の開発状況、技術の状況、テクノロジーディベロプメント、知的財産権の状況、競合技術/競合他社、市場参入への障壁、レコメンデーションの内容で報告された。

【結果】普及戦略の一つとして、温泉地域におけるモデルハウスと提携した実証試験事業、工場排熱をつかったプラント内での排熱回収発電事業などが提案された。

### 中項目C-2 スマートバイナリー発電の他地域展開事業 (計測)

- ・ 実施項目 社会技術の主体形成に向けた活動 (大項目C・中項目C-1)

【内容】：

- ・ 第 27 回打ち合わせ (2021/10/28) ; 「小浜温泉 SDGs プロジェクト推進協議会」 (以下、協議会) のキックオフミーティングが開催された (図 20)。協議会のミーティングに関するスケジュール (案) が提案され、3 か月に 1 回程度の頻度で開催することが提案された。現在、スマートバイナリー発電システムのアントレプレナー候補がいないために研究代表者の研究室の学生が「学生アントレプレナー」として、その代わりに務めることが説明された (図 21)。



図 20 協議会キックオフミーティング



図 21 協議会と学生アントレプレナー

- ・ 第2回戦略会議（2021/11/12）；長崎大プロジェクトチームから「学生アントレプレナー」と「小浜温泉SDGs推進協議会」の連携体制が提案された。アドバイザーチームから、学生アントレプレナーと協議会の関係を見直し、協議会を主体にすることが提案された。
- ・ 第32回打ち合わせ（2022/01/21）；第2回戦略会議において、この研究プロジェクトの活動に一時的に参加する学生は、地域の課題解決のためのアントレプレナーとして適任ではないことを指摘されたことが報告された。一方、JSTアドバイザーチームから、この研究プログラムでは地域が主役であることの見解があり、協議会を次期研究プロジェクトの主体にすることを提案した。

【結果】：

- ・ 「小浜温泉旅館組合」と事業の「担い手」との連携体制を検討した。温泉地域における活動の主体となる「小浜温泉SDGsプロジェクト推進協議会（以下、協議会）」を結成した。「協議会」を中心にして「担い手」を育成する法人設立のシナリオ、および、「協議会」が次期プロジェクトの主体となることを2022年3月のワークショップで検討することを計画した。
- ・ 実施項目 社会技術の持続可能性に向けた活動（大項目C・中項目C-1）

【内容】：

- ・ 第1回戦略会議（2021/08/19）：「地域エネルギー協会」を設立し、小出力発電事業の人材育成に関するビジネスモデルをアドバイザーチームに提案した。これを大学の認定事業として、地域の再生可能エネルギーを運用する人材を育成する。この協会の理事をガバナンスボードとして、スマートバイナリー発電をはじめとした、地域の再生可能エネルギーの持続可能な活用のしくみをつくる。
- ・ 第1回協議会（2021/10/29）；3名の学生アントレプレナーが「小浜温泉SDGsエコツアープロジェクト」、「温泉熱発電プラント販売プロジェクト」、「地域再生可能エネルギー電力サービスプロジェクト」のビジネスモデル仮説を協議会に提案した。
- ・ 第2回戦略会議（2021/11/12）；アドバイザーAから温泉地域がインターンを受け入れる「地域インターンシップ」の制度が提案された。この社会技術を他地域展開することが提案され、協議会と検討することとした。アドバイザーCから、例えば、このプロジェクトの成果を日本学術振興会「ひらめき・ときめき・サイエンス」のような教育に特化した形で活動することが提案された。
- ・ 第2回協議会（2021/11/21）；協議会代表との面談（2021/11/25）で、次期研究プロジェクト（Solve for SDGsソリューションフェーズ）のシナリオとして温泉地域でインターンを受け入れることの実現可能性について意見交換したことが報告された。温泉地域で活動するインターンを受け入れる場合、宿泊・食事などの持続可能な仕組みづくりが課題になることが指摘された。また、現在の大学単体の研究開発体制では社会実装



に対するリスクが高いこと、長崎大学が発電システム製造の主体にはなり得ないこと、民間企業との共同研究によるシステムの開発が必要であることなどが説明された。また、「地域インターンシップ」の執行に際しては、源泉所有者（温泉事業者）の意見を聞く必要があることが意見された。

- ・ 第3回戦略会議（2022/1/21）；地域インターンシップのビジネスモデルについて、協議会から学生やボランティアの滞在費や食費の負担が課題になるとの指摘があったことが報告された。この課題を長崎大プロジェクトチームで審議し、インターンシップに関するマネタイズを提案した。この事業モデルでは、地域の協議会が「事業の主体」となり、売電収入を財源として、教育、産業、環境、地域づくりのための持続可能な仕組みをすることが提案された。
  - ・ インターンシップでは、学生やボランティアが「執行の主体」となり、地域の課題に取り組む。学生やボランティアはインターンシップを通して地域づくりについて学ぶだけでなく、社会見学や行政視察にも対応してもらう。地域での学びがSNSなどを通して学生ボランティアによって情報発信される。これらの一連の活動を新しい社会技術として他地域に主体を形成し、他地域展開することが提案された。
  - ・ 売電事業ではなく、HEMSのように系統電源と自家消費電源を使い分ける利用法があることが提案された。町内・コミュニティ単位でできるものはなんであるか？地域エネルギーマネージメントあるいは町内エネルギーマネージメントの仕組みが提案された。
- 【結果】：「地域エネルギー協会」の事業については、本研究プロジェクトでは実施しない。「地域インターンシップ」は課題を提供する地域の事業者がいて、その課題解決に利用することには効果的であることがアドバイザーチームからコメントされた。研究プロジェクトの計画で提案された出力1kW級の発電システムによる地域事業を継続して検討する。第2回協議会の協議会からの「持続可能性」に関わる質問を精査し、次期研究プロジェクトのシナリオについて3月に開催されるワークショップにおいて継続審議する。このワークショップでの合意形成に基づいて、次期研究プロジェクトのシナリオを創出する。

- ・ 実施項目 社会技術の他地域展開に向けた活動（大項目C・中項目C-2）

【内容】：

地熱・温泉熱エネルギー産業化実務者会議（2021/03/25）

- ・ 「令和2年度 第2回地熱・温泉熱エネルギー産業化実務者会議（以下、実務者会議）」へ出席し、同会議において本研究プロジェクトの取り組みを紹介した。本プロジェクトの目標を達成するためには、主体形成、持続可能性、対象の拡大が課題であることを情報共有した。
- ・ 小浜でスマートバイナリー発電システムの実証試験を計画していること、オブザーバーである民間企業に対してビジネスモデル仮説を募集していることなどを話題提供した。このシステムによる自家消費電源の持続可能な新産業を九州地区で開始し、民

間事業育成やシステム開発に関する新産業の創出を提案した。

【結果】：実務者会議は「九州地域戦略会議 再生可能エネルギー産業化推進委員会」を上位組織とする、九州各県のエネルギー産業に関わる行政官、民間企業のオブザーバー、委員会事務局、実務者会議事務局から構成される組織である。実務者会議において、研究プロジェクトの活動を情報共有した。

中項目C-3 スマートバイナリー発電の多地域展開事業（分析・評価）

・ 実施項目 次期研究プロジェクトのSWOT分析（大項目C・中項目C-3）

【内容】：第3回協議会と第3第回戦略会議における議論の結果をSWOT分析した（図2.2）。内部環境分析の強みと弱みの関係から、プロジェクトの主体を分析する。外部環境の機会と脅威の関係から、次期研究プロジェクトの業界を分析する。

### 強み×弱み（内部環境分析・主体分析）



### 機会×脅威（外部環境分析・業界分析）

図2.2 主体と業界のSWOT分析

【結果】：

・ 次期プロジェクトの主体の分析・評価

（認知度・ブランド力）小浜温泉は地熱発電の反対・共存・活用の歴史に関する認知度がある。2007年の小浜温泉プロジェクトを経て、地域のエネルギーを独立電源や自家消費電源として活用する新しい社会技術プロジェクトを開始する。

（価格・品質）また、地元大学が研究開発した技術シーズを製品化させるために、次期研究プロジェクトでは民間企業とスマートバイナリー発電を共同開発する。主体の一つである源泉所有者の施設電力を対象にするために、スマートバイナリー発電の価格を自動車1台分程度に設定する。

（資源・立地）温泉地域におけるエネルギーの直接利用をするために、積極的に自噴の源泉を活用する。また、この発電技術を水平展開するために、工場排熱、焼却場、内燃機関の廃熱利用への応用も検討する。

（サービス・技術力）さらに、この社会技術を温泉地域に定着させるために、地域の自動車整備会社、配管設備メンテナンス会社、建設会社などの社会技術ネットワークを完成させる。

・ 次期研究プロジェクトの業界の分析・評価

（市場規模・成長性）温泉熱エネルギーの地産地消ビジネスとして、源泉所有者の設備投資事業、指定管理者制度における公共施設の管理・運営をする法人の事業、これら二つがおもな事業の候補となる。自家消費電源としての排熱利用は再生可能エネルギーの地産地消に関するニッチな産業分野である。この排熱エネルギーには、温泉熱だけでなく、工場排熱、焼却場の排熱、内燃機関の排熱などの、事業の成長につながる市場がある。

（競合）温泉熱エネルギーの独立電源・自家消費電源としての地産地消事業には大手企業が参入する可能性が低い。現時点では、長崎大学はスマートバイナリー発電に関して、国内トップクラスの研究開発体制を構築している。

（景気・経済・社会）化石燃料からの転換だけでなく、地政学リスクに伴う原油価格の高騰、内燃機関からモーターへの技術革新、持続可能な社会を目指すためのCO2排出削減などの課題から、エネルギーを取り巻く環境は大きく変わろうとしている。

（政治・法律）再生可能エネルギーの地産地消を目的とした独立電源・自家消費電源としての活用は、現在のFIT制度（再生可能エネルギー固定価格買取制度）の仕組みとは対極の社会技術であることに特徴がある。

大項目D 超分散型エネルギー社会の情報発信

中項目D-1 実証試験事業

- ・ 実施項目 デジタルサイネージによる社会技術の情報発信（大項目D・中項目D-1）

【内容】：

- ・ 第12回打ち合わせ（2021/4/30）；LEDビジョンの仕様について確認し、おもに発電機出力と消費電力の関係から、案2で計画することにした。

	M1 series(案1)	AHO2.5(案2)
表示領域(mm)	1280×960	960×640
ピクセルピッチ(mm)	4	2.5
解像度(pixel)	240×320	256×384
平均消費電力(W)	500	250
設置方法	据え置き	壁掛け
認可手続き	島原振興局	雲仙市
適正視認距離(m)	4.64	2.9

図23 デジタルサイネージ設置に関する検討資料

【結果】：LEDビジョンが2021年8月3日に雲仙市温泉発電研究施設へ設置された。当初の計画通り、スマートバイナリー発電システム（工学）、超分散型エネルギー社会（環境科学）、地域事業のスタートアップ（地域）に関する社会技術と共創のプロセスを情報発信し

ている。管理者は表示されるデジタルコンテンツを、インターネットを介して編集することができる。



設置前 (before)

設置後 (after)

図24 LEDビジョンの設置

#### 中項目D-2 他地域展開事業

- ・ 実施項目 地熱資源開発にかかる自治体連絡会議（大項目D・中項目D-2）

【内容】：九州経済産業局主催の自治体連絡会議が開催された。本研究プロジェクトの活動を雲仙市と協働して実機のデモンストレーションを通して紹介した。資料として「温泉地域社会のためのSDGsー基本計画ー」の冊子を配布した。冊子の電子データをLEDビジョンに表示させながら、研究プロジェクトの活動内容を説明した。



図25 デジタルサイネージを活用した情報発信

【結果】：雲仙市と協働して「地熱資源開発にかかる自治体連絡会議」において、研究プロジェクトの取り組みを九州地区の9つの自治体、資源エネルギー庁、JOGMEC、沖縄総合事務局および九州経済産業局に情報発信した。大分県からは「地熱・温泉熱エネルギー産業化実務者会議」事務局担当者が出席しており、実務者会議における本研究プロジェクトの活動について意見交換した。

#### 中項目D-3 地域共創事業の成果展示

- ・ 実施項目 2022年度長崎県内の初等・中等教育支援のための登録

【内容】：第2回戦略会議においてアドバイザーCから研究活動の成果を教育に特化した形で活動することの提案があった。長崎大学は、地域に基盤を置く総合大学として地方創成の原動力となるよう、長崎県教育委員会との協定に基づき、長崎県内学校教育（初等・中等教育等）を生涯教育センターが中心となりの支援している。

【結果】：研究プロジェクトの教育活動に関する第一歩として、研究代表者が「温泉熱発電による持続可能な地域社会づくり」と題して教育支援に登録した。

- ・ 実施項目 冊子「温泉地域社会のためのSDGs ー基本計画ー」の作成

【内容】：小浜温泉SDGsプロジェクトの冊子の作成について、雲仙市および景色デザイン室と検討した。長崎大学と雲仙市が素材資料を情報収集し、景色デザイン室が「小浜温泉SDGsプロジェクト」の活動を冊子として編集する。

【結果】2021年9月15日に冊子「温泉地域社会のためのSDGs ー基本計画ー」を完成した。この電子ブックのデジタルコンテンツも合わせて作成した。

<https://saas.actibookone.com/content/detail?param=evJjb250ZW50TnVtLjoxMjg4NjF9&detailFlg=0&pNo=1>

## 大項目E 温泉地域における超分散型エネルギー社会に関する成果発表

### 中項目E-1 シンポジウムの準備・開催

- ・ 実施項目 協議会におけるシナリオ策定（大項目E／中項目E-1）

【内容】：ワークショップの開催に先立って、「小浜温泉 SDGs プロジェクト推進協議会」のメンバーに対してアンケート調査を実施した。

【結果】：「スマートバイナリー発電が実用化されると、この発電機は個人事業主（源泉所有者）の設備投資の対象になるか？」の問いに対して、「設備投資の対象になる」が 55.6%、「どちらかといえば設備投資の対象になる」が 33.3%であった（図 26）。「スマートバイナリー発電の特定施設の補助電源としての活用方法には、持続可能性があるか？」の問いに対して、「持続可能性がある」が 44.4%、「どちらかといえば持続可能性がある」が 33.3%であった。一方、「どちらともいえない」の回答は 22.1%であった（図 27）。

スマートバイナリー発電が実用化されると、この発...（源泉所有者）の設備投資の対象になりますか？  
9件の回答



図 2 6 設備投資に関するアンケート結果（個人利用）



スマートバイナリー発電の特定施設の補助電力とし...性があるかについてご意見をお聞かせください。  
9件の回答

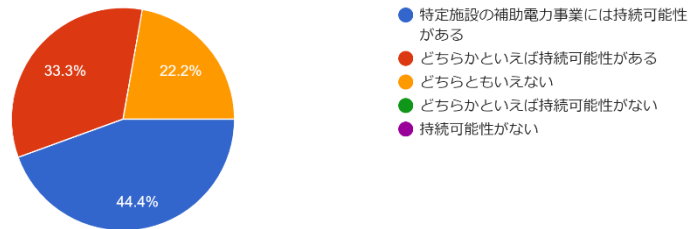


図 2 7 公共施設での補助電源に関するアンケート結果（法人利用）

## 中項目 E-2 温泉地域における超分散型エネルギー社会の他地域展開

- ・ 実施項目 小浜温泉 SDGs プロジェクトワークショップ（大項目 E / 中項目 E-2）

【内容】：「小浜温泉 SDGs プロジェクトワークショップ」が 2022 年 3 月 29 日に開催された。このワークショップで、次期研究プロジェクトのシナリオを「長崎大学研究プロジェクトチーム」と「小浜温泉 SDGs プロジェクト推進協議会」の両者で合意形成をすることが提案された。次期研究プロジェクトに関するアンケート調査の結果が説明された。長崎県工業技術センターの取り組みが資料に沿って説明された。

【結果】：次期研究プロジェクトでは、地域の協議会を主体とすることが提案され、協議会メンバーと合意形成した。長崎大学研究プロジェクトチームが提案した次期研究プロジェクトのシナリオを説明し、協議会メンバーと合意形成した。研究代表者から、FIT 制度のルール上、補助金・助成金での売電事業はできないこと、第 2 回協議会（2022/1/19 開催）で提案された売電事業による「地域インターンシップ」のための財源確保はその制度上できないこと、などが説明された。長崎県工業技術センターから、スマートメンテナンス技術の開発の進捗について説明された。協議会からスマートバイナリー発電システムの見学会開催の要請があり、2022 年 4 月 22 日に見学会を実施した。

## 3. 研究開発成果

### 3-1. 目標の達成状況

- (1) 小浜温泉地域を最初のフィールドとして、源泉所有者である温泉事業者を対象として、量産機械要素技術の転用により実現可能性の高いスマートバイナリー発電システムの創出を目標とした。当初計画通り、1号機と2号機を製作した。
- (2) 小浜温泉地域の個別の源泉にスマートバイナリー発電システムを設置し、温泉地域社会に対して、地域の地熱エネルギーによる電力を多様な用途に展開することを目標として、1号機の可能性試験と2号機実証試験を計画した。1号機の可能性試験を完了したが、2号機の開発の遅れから、実証試験については令和5年3月末まで延長する

ことになった。

- (3) 小浜温泉地域に対して、学生アントレプレナー、協議会、研究プロジェクトチーム、およびアドバイザーチームとの協働による地域のエネルギー活用のためのビジネスモデルをリーンスタートアップのマネジメント手法により仮説検証することを目標にした。学生アントレプレナーがスマートバイナリー発電に関するマーケティング調査を実施した。また、学生アントレプレナーが提案したビジネスモデル仮説を小浜温泉 SDGs プロジェクト推進協議会と協働して仮説検証した。研究プロジェクトチームが、地域エネルギー協会の設立、地域インターンシップのしくみづくり、指定管理者の施設電源の自家消費電力マネジメントに関するビジネスモデル仮説を提案し、アドバイザーチームと協働して仮説検証した。
- (4) 100kW 級バイナリー発電所で形成された既存の共創モデルから、スマートバイナリー発電により地域のエネルギーを直接活用する新しい社会技術への変容について、主体形成、持続可能性、他地域展開の視点からシナリオを策定することを目標にした。3-2 節に示される研究成果のシナリオを策定した。
- (5) 九州の温泉地域社会に対して、超分散型エネルギー社会の仕組みの他地域展開を計画することを目的として、九州地区の温泉地域における行政機関のネットワークを活用した社会技術の情報発信を計画した。地熱・温泉熱エネルギー産業化実務者会議（大分県商工労働部）との連携体制を構築した。また、地熱資源開発にかかる自治体連絡会議（九州経済産業局）において、研究プロジェクトの取り組みを情報共有した。教育を通じた他地域展開の第一歩として、「温泉熱発電による持続可能な地域社会づくり」と題して、長崎県内の初等・中等教育支援（長崎県教育委員会）に登録した。
- (6) 超分散型エネルギー社会を実現するシナリオ策定からその実証試験への移行を目的として、2022 年度「Solve for SDGs（ソリューション創出フェーズ）」への申請を目標にした。研究プロジェクトに基づく社会技術のシナリオを策定し、2022 年度「Solve for SDGs（ソリューション創出フェーズ）」の研究プログラムに申請した。

### 3-2. 研究開発成果

#### 成果 1, 主体形成に関するシナリオ

【内容】: 地域における社会技術の推進体制を「小浜温泉 SDGs プロジェクト推進協議会」を軸として形作った。協議会は社会技術を社会実装するための議論の主体である。この推進体制の全体は発電機の開発・生産・販売に関わる「プロダクトグループ」、発電事業のステークホルダーによる「発電・環境グループ」、および、発電事業を活用した地域全体の公共の福祉を増進させる「地域づくりグループ」から構成される。受益者は温泉施

設の指定管理者および温泉事業を営む源泉所有者からなる「発電・環境グループ」である。社会技術の担い手は「プロダクトグループ」および「地域づくりグループ」である。この研究プロジェクトで設立された協議会には、地域の未来を担う若手事業者から構成されることに特徴がある。地域課題を推進するための協議会の運営方法については、長崎大学総合生産科学域（馬越研究室、佐々木研究室）、小浜温泉エネルギー活用推進協議会から入手することができる。

【活用・展開】：社会技術を継続的に使うための人材は指定管理者および源泉所有者（地域の温泉事業者）を想定している。この社会技術を実際に運用するための O&M（オペレーションとメンテナンス）を担当する民間企業の組織化を検討している。行政が所有する観光資源の温泉熱エネルギーを指定管理者の施設用電源として利用する仕組みは、自治体による社会技術の運営を可能にする。指定管理者制度は地方自治法によって定められた制度であり、温泉地域の指定管理者は全国に存在する。公営施設を管理する指定管理者は、株式会社をはじめとした民間企業、財団法人、NPO 法人、市民団体などである。自家消費発電によって公共施設の管理費が削減できる可能性があれば、この社会技術は指定管理者の事業に対するメリットになる。本研究プロジェクトでは、指定管理者である雲仙観光局と協働して次期研究プロジェクトの主体形成に関するシナリオを検討した。

【その他】：社会技術の主体について、当初想定していた源泉所有者（地域の温泉事業者）だけでなく、より実現可能性の高い指定管理者を対象として検討した。

## 成果 2、持続可能性に関するシナリオ

【内容】：温泉地域の熱エネルギーから実際に発電することが可能であることを 2 号機の実証試験により示した。これは、スマートバイナリー発電が自家消費電源のプロダクトとしての実現可能性があることを示すものである。このプロダクトの主な受益者は、スマートバイナリー発電システムとその周辺技術を生産する民間企業、自家消費発電のサービスを提供する民間企業である。自家消費発電の担い手は、指定管理者および源泉所有者である。このプロダクトは、太陽光発電のように、電気事業法の小出力発電設備に分類され、多くの規制緩和の恩恵を受けることができる。スマートバイナリー発電は出力 10kW 未満に小型化された自家消費電源の技術シーズによって、従来の FIT 制度を前提とした売電事業ではなく、地域のエネルギーを地域の多様な課題解決に活用に対して活用することに新規性がある。

【活用・展開】：排熱回収のための小出力バイナリー発電システムについては、本研究プロジェクトで共同開発した民間企業が実際に生産することの検討を開始している。温泉の熱エネルギー包蔵量の予測については、長崎県工業技術センターが開発しているスマートメンテナンス技術を応用することができる。スマートバイナリー発電の価格は自動車 1 台分程度の価格を計画している。民間企業はプロトタイプの量産体制も視野にいており、他地域の民間事業者にもプロダクトとして展開することが可能である。温泉地域におけ



る複数の地方自治体では、地域資源の保護と活用を目的として、出力 10kW 以上の発電機の設置に関する条例が制定されている。自家消費発電を目的とした出力 10kW 未満のスマートバイナリー発電は、この条例に抵触することなく、地域の事業者が自由に設置することが可能である。

【その他】：本研究プロジェクトにおける研究開発を通して、汎用マイコンによる制御システム、クラウドサーバーと携帯端末による遠隔操作技術の開発を完了した。

### 成果 3、他地域展開に関するシナリオ

【内容】：小浜温泉にある雲仙市所有の研究施設にデジタルサイネージを設置し、観光客向けに研究プロジェクトの情報を発信した。九州地区における自治体との研究プロジェクトの社会技術を連絡調整するための体制を形作った。長崎県教育委員会における初等・中等教育支援に登録し、教育を通じた社会技術の他地域展開の体制をつくった。温泉地域の事業者は、社会技術の情報発信によって、社会見学や視察旅行による観光産業による利益を受ける。また、子どもたちは再生可能エネルギーについての社会見学を通して持続可能な社会の学びに関する恩恵を受ける。この社会技術の情報発信の担い手は、温泉地域の自治体や地域の大学である。この研究プロジェクトで形づくられた社会技術の情報発信は、温泉地域における自治体のネットワークから他地域に展開されることに有効性がある。また、この他地域展開のシナリオには、初等・中等教育の子どもを対象とした教育を通して情報発信するしくみに特徴がある。研究プロジェクトの活動をまとめた、一般市民向けの冊子をインターネットで公表している。

【活用・展開】：温泉地域の自治体と温泉の熱エネルギーを自家消費電源として活用するための連携体制を構築した。指定管理者である（一社）雲仙観光局とは、本研究プロジェクトの社会技術を観光資源として情報発信する実証試験の計画を立てた。小浜温泉における自家消費発電の社会技術の研究事例が確立されると、他の自治体からの視察などを通して社会技術が自ずと展開される。2021 年 11 月には、九州経済産業局主催の「令和 3 年度地熱資源開発における自治体連絡会議」が開催され、研究プロジェクトの成果を情報発信した。自治体の視察を目的としたエコツアープログラムの開発も社会技術の情報発信には有効な方法となる。

【その他】：本研究プロジェクト期間中に社会技術に関心のある民間企業からの視察や来学が 3 回あり、民間企業 5 社と 6 回のオンライン会議を実施した。

## 4. 研究開発の実施体制

### 4-1. 研究開発実施体制

#### 4-1-1 グループ名、グループリーダー、役割、概要

##### (1)A グループ（システム開発）

グループリーダー：山口朝彦（長崎大学総合生産科学域、教授）

役割：システムの開発

概要：実証試験事業および多地域展開事業のための試作機の開発

(2) B グループ（実証試験）

グループリーダー：本村文孝（長崎大学総合生産科学域、助教）

役割：システムの実証試験事業

概要：実証試験事業に関する計画、計測および分析・評価

(3) C グループ（他地域展開）

グループリーダー：馬越孝道（長崎大学総合生産科学域、教授）

役割：システムの他地域展開事業

概要：他地域展開事業に関する計画、計測および分析・評価

(4) D グループ（資料展示）

グループリーダー：佐々木壮一（長崎大学総合生産科学域、助教）

役割：研究成果の資料展示

概要：実証試験事業、他地域展開事業および地域共創事業の成果の展示

(5) E グループ（成果発表）

グループリーダー：森知洋（雲仙市環境水道部、参事補）

役割：研究プロジェクトの成果発表と他地域展開

概要：シンポジウムの準備・開催、行政組織における社会技術の他地域展開

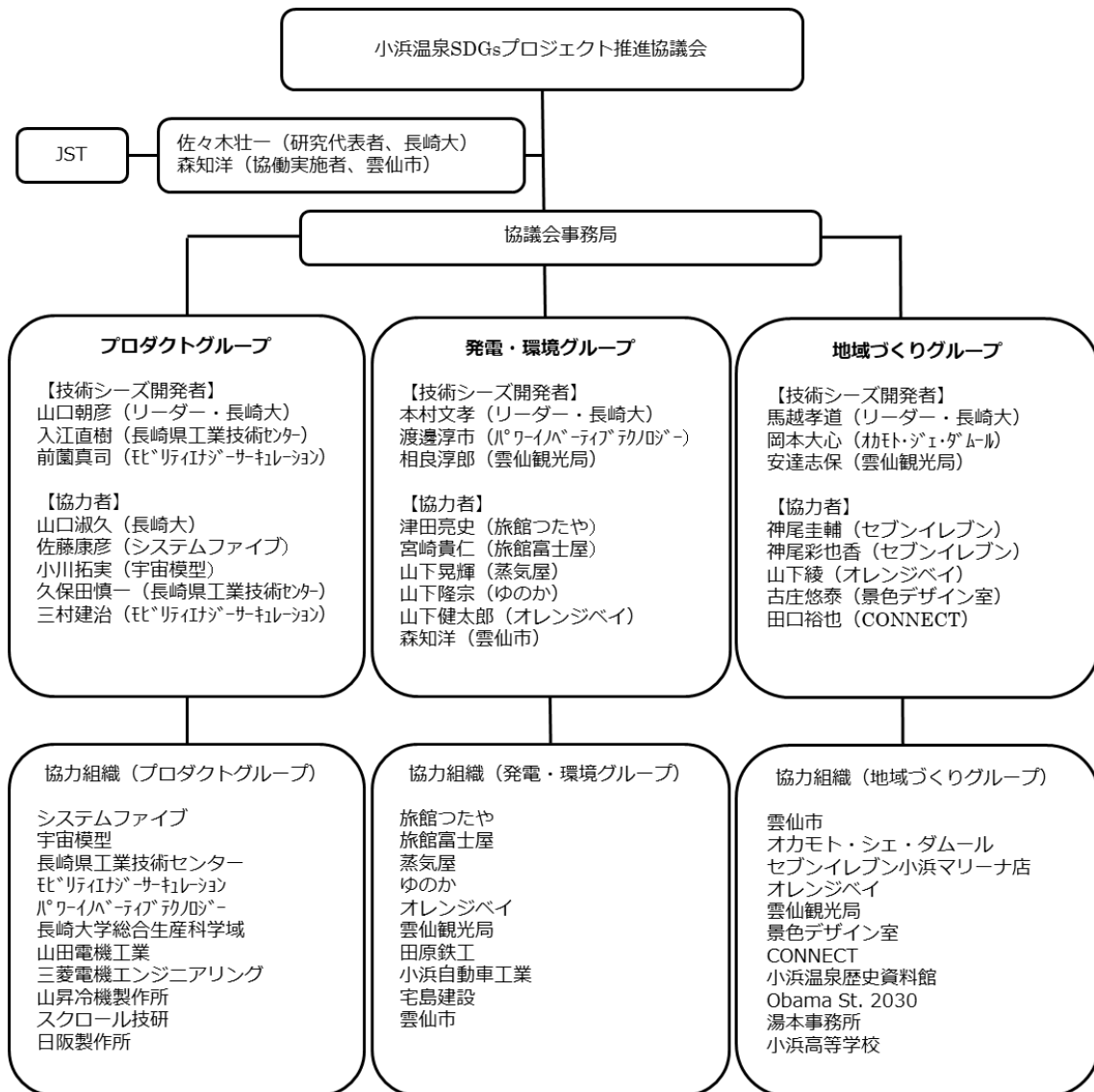
#### 4-1-2 協働実施者に期待された主な役割など

協働実施者には、雲仙市の観光施設におけるスマートバイナリー発電実証試験の許認可申請、地方自治体における地域のエネルギー活用に関するネットワークづくり、研究プロジェクトの成果発表が期待されていた。協働実施者は、スマートバイナリー発電の実証試験について雲仙市環境水道部において連絡調整の上、実施可能な体制をつくった。地方自治体における小出力エネルギー活用のネットワークづくりの第一歩として、研究開始当初から九州経済産業局主催の「地熱資源開発にかかわる自治体連絡会議」において、研究プロジェクトの活動を情報発信することを計画した。2021年11月に開催された会議において、研究代表者は協働実施者と協働して、九州における6つの県の行政機関および4つの市の行政機関、NEDO、資源エネルギー庁、JOGMEC、沖縄総合事務所、九州経済産業局に向けて研究プロジェクトの活動を情報発信した。また、協働実施者は小浜温泉現地からの研究プロジェクトの情報発信を目的として、主要観光スポットにデジタルサイネージを設置するための雲仙市長への許認可申請に貢献した。研究プロジェクト開始当初は、研究成果の情報発信の一環として、雲仙市に新設された「雲仙市小浜体育館」においてスマートバイナリー発電の見本市を含むワークショップの開催を計画していた。しかし、コロナ禍の社会情勢を勘案し、対面のシンポジウムについては開催しないこととした。

#### 4-1-3 協働実施者との協働上の課題

地方自治体には担当部署ごとの所管があり、研究プロジェクト活動の目的次第では、担当部署として支援ができないことがあった。例えば、SDGsの理念に基づくこの研究プログラムのように、「エネルギー」、「地域づくり」、「産業」、「教育」のような多様な研究プロジェクトの目標を行政職員である協働実施者が全て支援することは困難であった。

#### 4-1-4 事業終了時点でのステークホルダーマップ。



#### 4-2. 研究開発実施者

(1) Aグループ（リーダー氏名：山口朝彦）

役割：システム開発

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
山口 朝彦	ヤマグチ トモヒコ	長崎大学	総合生産科学域	教授
佐藤 康彦	サトウ ヤスヒコ	システムファイブ		代表取締役
小川 拓実	オガワ タクミ	宇宙模型		取締役
盛永 啓明	モリナガ タカアキ	長崎大学	総合生産科学域	助教
山口 淑久	ヤマグチ ヨシヒサ	長崎大学	研究開発推進機構	室長

(2) Bグループ（リーダー氏名：本村文孝）

役割：実証試験事業

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
本村 文孝	モトムラ フミタカ	長崎大学	総合生産科学域	助教
入江 直樹	イリエ ナオキ	長崎県工業技術センター	応用技術部	主任研究員
久保田 慎一	クボタ シンイチ	長崎県工業技術センター	基盤技術部	主任研究員

(3) Cグループ（リーダー氏名：馬越孝道）

役割：多地域展開事業

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
馬越 孝道	ウマコシ コウドウ	長崎大学	総合生産科学域	教授
岡本 大心	オカモト ダイシン	オカモト・シェ・ダムール	協議会	
津田 亮史	ツダ リョウジ	つたや旅館	協議会	
宮崎 貴仁	ミヤザキ タカヒト	旅館富士屋	協議会	
山下 晃輝	ヤマシタ コウキ	蒸気屋	協議会	
山下 隆宗	ヤマシタ タカムネ	旅館ゆのか	協議会	
神尾 圭輔	カミオ ケイスケ	セブンイレブン	協議会	
神尾 彩也香	カミオ サヤカ	セブンイレブン	協議会	
山下 健太郎	ヤマシタ ケンタロウ	オレンジベイ	協議会	
山下 綾	ヤマシタ アヤ	オレンジベイ	協議会	
安達 志保	アダチ シホ	小浜温泉旅館組合	協議会	

(4) D グループ（リーダー氏名：佐々木壮一）

役割：情報発信・地域教育

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
佐々木 壮一	ササキ ソウイチ	長崎大学	総合生産科学域	助教
馬越 孝道	ウマコシ コウドウ	長崎大学	総合生産科学域	教授
佐々木 裕	ササキ ヒロシ	雲仙市	環境水道部	参事補
古庄 悠泰	フルショウ ユウタイ	景色デザイン室		デザイナー
田口 裕也	タグチ ユウヤ	CONNECT		取締役

(5) E グループ（リーダー氏名：森知洋）

役割：成果発表

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
森 知洋	モリ トモヒロ	雲仙市	環境水道部	参事補
馬越 孝道	ウマコシ コウドウ	長崎大学	総合生産科学域	教授
本村 文孝	モトムラ フミタカ	長崎大学	総合生産科学域	助教
山口 朝彦	ヤマグチ トモヒロ	長崎大学	総合生産科学域	教授
入江 直樹	イリエ ナオキ	長崎県工業技術センター	応用技術部	主任研究員
久保田 慎一	クボタ シンイチ	長崎県工業技術センター	基盤技術部	主任研究員

### 4-3. 研究開発の協力者

（公開）

氏名	フリガナ	所属	役職（身分）	協力内容
山下 淳司	ヤマシタ ジュンジ	長崎大学	教授	ビジネスモデルの仮説検証
上條 由紀子	カミジヨウ ユキコ	長崎大学	教授	ビジネスモデルの仮説検証
川添 新二	カワゾエ シンジ	スクロール技研	代表取締役	スクロールタービンの開発

機関名（チーム名）	部署	協力内容
宇宙模型		試作1号機の開発
システムファイブ		制御システムの開発
モビリティエネルギーサーキュレーション		試作2号機の開発

## 5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

### 5-1. シンポジウム等

#### 5-1-1. プロジェクトで主催したイベント（シンポジウム・ワークショップなど）

年月日	名称	場所	概要・反響など	参加人数
2020/11/25	研究プロジェクトキックオフミーティング	オンライン	研究プロジェクトの概要、研究プロジェクトの研究計画など、チーム全体で研究活動の情報を共有した。	17名
2022/03/29	小浜温泉 SDGs プロジェクトのワークショップ	オンライン	アンケート調査の結果に基づいて、次期研究プロジェクトのシナリオに関する合意形成をした。	12名
2022/04/22	スマートバイナリー発電見学会	小浜温泉試験場	スマートバイナリー発電1号機のデモンストレーションを通して、次期研究プロジェクトの主体と持続可能性について協議会メンバーと協議した。	7名

### 5-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

#### 5-2-1. 書籍、フリーペーパー、DVD など論文以外に発行したもの

- (1) 佐々木壮一、スマートバイナリー発電の活用を軸とした持続可能な温泉地域社会の開発、長崎経済研究所、2022年10月、[https://nagasaki-keizai.jp/ngskeizai-wp/wp-content/themes/ngskeizai/actibook\\_data/nk\\_00387/HTML5/pc.html#/page/1](https://nagasaki-keizai.jp/ngskeizai-wp/wp-content/themes/ngskeizai/actibook_data/nk_00387/HTML5/pc.html#/page/1)
- (2) 長崎大学小浜温泉 SDGs プロジェクトチーム、冊子「温泉地域のための SDGs -基本計画-」、長崎大学大学院工学研究科 佐々木研究室、2021年9月

#### 5-2-2. ウェブメディアの開設・運営

- (1) 長崎大学小浜温泉 SDGs プロジェクトチーム、電子ブック「温泉地域のための SDGs -基本計画-」、CloudCIRCUS ActiBook、2021年9月、<https://saas.actibookone.com/content/detail?param=eyJjb250ZW50TnVtIjoxMjg4NjF9&detailFlg=0&pNo=1>

### 5-2-3. 学会以外のシンポジウムなどでの招へい講演 など

・なし

### 5-3. 論文発表

#### 5-3-1. 査読付き（1件）

- (1) 佐々木壮一、荒巻太樹、スクロールタービンの性能評価に基づく小出力オーガニックランキンサイクルの実証試験、ターボ機械（2022年11月現在、投稿中）

#### 5-3-2. 査読なし（2件）

- (1) 佐々木壮一、染矢鯉一郎、山口朝彦、低温熱源により作動する小出力オーガニックランキンサイクルにおけるタービン性能の熱力学的解析、長崎大学大学院工学研究科研究報告、第51巻、第96号、2021年1月、[https://nagasaki-u.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=26424&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=21](https://nagasaki-u.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=26424&item_no=1&page_id=13&block_id=21)
- (2) 佐々木壮一、荒巻太樹、タービン効率の評価に基づく小出力オーガニックランキンサイクルの可能性試験、長崎大学大学院工学研究科研究報告、第52巻、第99号、2021年7月、[https://nagasaki-u.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=27514&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=21](https://nagasaki-u.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=27514&item_no=1&page_id=13&block_id=21)

### 5-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

#### 5-4-1. 招待講演（国内会議 0件、国際会議 0件）

#### 5-4-2. 口頭発表（国内会議 3件、国際会議 0件）

- (1) 荒巻太樹、佐々木壮一、スクロールタービンの効率に基づくオーガニックランキンサイクル性能の評価、日本機械学会九州学生会第53回卒業研究講演会、オンライン、2022年3月
- (2) 荒巻太樹、佐々木壮一、スクロールタービンを搭載した小出力オーガニックランキンサイクルの性能評価法の検討、日本機械学会第56回動力・エネルギー技術シンポジウム、アバンセ（佐賀県）、2022年7月
- (3) 佐々木壮一、荒巻太樹、スクロールタービンの性能評価と小出力オーガニックランキンサイクルの実証試験、ターボ機械協会京都講演会、同志社大学、2022年9月

#### 5-4-3. ポスター発表（国内会議 0件、国際会議 0件）

## 5-5. 新聞報道・投稿、受賞など

### 5-5-1. 新聞報道・投稿

・なし

### 5-5-2. 受賞

・なし

### 5-5-3. その他

・なし

## 5-6. 特許出願

### 5-6-1. 国内出願（ 1 件）

(1) バイナリー発電装置、佐々木壮一・山口朝彦、長崎大学、2021年3月、特願 2021-57731

### 5-6-2. 海外出願（ 0 件）

## 6. その他（任意）

(1) 佐々木壮一、温泉地域における超分散型エネルギー社会を実現するためのシナリオ策定、令和2年度 第2回地熱・温泉熱エネルギー産業化実務者会議、オンライン、2021年2月